

Окончательно температуру принадлежащего поверхности элементарного объёма можно определить, как:

$$\Delta T = \frac{Q_T}{\Delta V \rho c_V} = \frac{Q_A - Q_T}{\Delta V \rho c_V} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i(T) E_i - \sum_{i=1}^{N_n} \Delta Q_i}{\Delta V \rho c_V} \quad (5)$$

В соответствии с требованием устойчивости решения уравнения теплопроводности (2) разностным методом на шаг по времени налагается ограничение

$Fo \leq 0.5$, то есть $\Delta t \leq \frac{h^2}{2a_{\max}}$, где a_{\max} – максимальное значение

температуропроводности для возможного диапазона температур.

Таким образом, алгоритм расчёта температур на данном этапе, в отсутствие фазовых переходов, выглядит следующим образом:

- расчёт количества лучей, попадающих на каждый расположенный на поверхности элементарный объём;
- расчёт мгновенного увеличения температуры ΔT_A для поверхностных объёмов;
- расчёт изменения количества теплоты в поверхностных элементарных объёмах за счёт механизма теплопроводности;
- расчёт температуры поверхностных элементарных объёмов
- расчёт температур во внутренних элементарных объёмах

Когда температура элементарного объёма достигает температуры фазового перехода, в расчёте температур необходимо учитывать теплоту фазового перехода. Наиболее просто это можно сделать, учитывая изменение объёмной теплоемкости при фазовом переходе:

$$c(T)\rho(T) = c_V(T) + L_m \delta(T - T^*) \quad (6)$$

УДК 621.375.826:621

Сахно Р.И., студ.; Козирев О.С., ст. викл.

СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ЛАЗЕРНОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

С момента начала использования лазерного излучения в качестве инструмента предпринимались попытки количественно описать процессы, происходящие при взаимодействии лазерного импульса с материалом мишени. Первые модели были построены на анализе физических явлений, составляющих процесс взаимодействия. При построении таких моделей из-за сложности процесса приходилось вводить значительное количество упрощений, отчего точность их снижалась.

В качестве альтернативы было предложено использование статистических математических моделей, строящихся без анализа физической сущности процесса.

Физические модели

Модель, разработанная П. И. Уляковым [1], представляет собой выражения для определения диаметра и глубины отверстия:

Учитывая значительный объем ограничений, введенных при теоретическом анализе процесса лазерной обработки и его описании, а также относительно узкий и различный для каждой модели набор управляемых факторов, её можно рекомендовать для определения относительной обрабатываемости материалов при неизменных условиях облучения.

Следующая модель, разработанная В. С. Коваленко, представляет собой зависимость диаметра получаемого отверстия от энергии излучения, а глубины – от интенсивности в пучке и коэффициента поглощения обрабатываемого материала:

В предположении полного использования энергии излучения для разрушения материала заготовки получены следующие модели для описания продольных и поперечных размеров полости в зависимости от некоторых параметров процесса: для глубины полости – в предположении роста лунки за счет испарения материала заготовки с ее дна; для диаметра – плавление и вынос расплава со стенок лунки.

Феноменологическая модель была получена В.П. Вейко и М.Н. Либенсоном на основе скоростной киносъемки процесса разрушения материалов сфокусированным лазерным лучом.

По этим данным на поверхности в материале образуется цилиндрическая лунка, размеры которой изменяются в течение обработки по закону светового конуса.

Основными процессами, приводящими к образованию отверстий в непрозрачных материалах световыми потоками умеренной плотности являются испарение и плавление вещества. При этом отверстие растет в глубину преимущественно за счет испарения, а по диаметру – за счет плавления стенок и вытеснения жидкости избыточным давлением паров. Кинетика развития отверстия под действием импульса свободной генерации удовлетворительно описывается феноменологической моделью, которую можно использовать для расчета окончательных размеров отверстия в непрозрачных материалах.

Математические статистические модели

Математическая модель строится в предположении, что определяемая моделью характеристика представляет собой случайную величину, на которую влияют множество факторов, среди которых выделяют значимые, а воздействие остальных переводится в погрешность модели.

Таким образом, можно выделить следующие причины низкой точности или ограниченной применимости существующих моделей:

Физические модели:

Не учтены совсем или учтены ограниченно следующие процессы, влияющие на окончательные параметры обработки:

- Зависимость коэффициента поглощения от состояния поверхности и температуры

- Потери тепла за счет выброса материала заготовки.

- Форма каустики пучка и условия фокусировки.

- Температурная зависимость теплофизических свойств материала.

- Экранирование излучения эрозионным факелом.

- Динамика выноса расплава из лунки.

- Конечная толщина заготовки.

- Распределение интенсивности по сечению луча.

Статистические модели:

- Требуют большого количества экспериментов; при наличии дрейфа технологического оборудования не обеспечивают воспроизводимость результатов;

- Отсутствует анализ физической сущности процесса, как следствие – для поиска оптимального режима обработки могут потребоваться дополнительные эксперименты;

- Получаемые модели «привязаны» к конкретному оборудованию, на котором эта модель строилась.

Принимая во внимание все сказанное выше, можно предложить использовать другой способ расчета режимов лазерной размерной обработки – модели, которая бы учитывала если не все параметры и процессы, происходящие как с материалом, так и с

другими составляющими процесса лазерной обработки, то хотя бы большинство из них.

Учитывая, что основным фактором, определяющим процесс лазерной обработки, является тепловое действие луча, а тепловая задача решается разностными методами, можно предложить следующий подход:

- дискретизация лазерного луча, то есть разбиение его на составляющие лучи с последующей трассировкой каждого луча при прохождении через оптические поверхности и при взаимодействии с материалом мишени;

- дискретизация материала мишени путём разбиения его на элементарные объёмы;

- приведение процессов взаимодействия излучения с веществом к разностной форме (например, к явной схеме МКР) и решение тепловой задачи;

- учёт динамики жидкой и газообразной фаз;

- учёт многократного отражения и поглощения луча на дне и стенках формирующейся лунки.

УДК 621.375.826:621

Сорокін Г.О., студ.; Козирев О.С., ст. викл.

НАНЕСЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ІОННО-ВАКУУМНИМ МЕТОДОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Зносостійкі покриття широко використовуються для підвищення стійкості різального інструменту та експлуатаційних властивостей деталей машин. Широке застосування мають покриття складу TiN, ZrN та ін.

Основними фізико-хімічними методами нанесення покриттів є:

1. Катодно-іонне бомбардування (Cathodic Arc Deposition)
2. Лазерно-хімічне осадження (Laser-assisted chemical vapour deposition)
3. Лазерно-плазмово-хімічне осадження (Laser-plasma-assisted chemical vapour deposition)

Сутність методу катодно-іонного бомбардування (CAD) полягає в генерації шару речовини катодною плямою вакуумної дуги низьковольтного високоамперного розряду, який розвивається виключно в парах матеріалу електрода. Дозована подача в вакуумний простір реагуючих газів в умовах іонного бомбардування призводить до конденсації покриття внаслідок протікання плазмохімічних реакцій:

Слід підкреслити багатостадійність процесу:

- іонне бомбардування для термомеханічної активації, усунення дефектів і очистки;

- поверхні основи іонами електрода, що випаровується, прискореними до 1-3 KeV власне конденсація покриття.

CAD є високопродуктивним способом - до 50 мм³/сек., якість покриття досить висока, однак товщина покриття – обмежена, близько 60 мкм.

Основними складнощами при нанесенні покриттів методом КІБ є низька швидкість утворення покриття, пористість покриття та низька адгезія до основи. Переваги методу лазерно-плазмово-хімічного осадження порівняно з лазерно-хімічним осадженням полягають у меншій необхідній потужності лазера, вищій точності та якості одержаного покриття. Існує можливість за допомогою лазерно-плазмово-хімічного осадження отримувати аморфні покриття. Спільними недоліками як лазерно-плазмово-хімічного осадження, так і лазерно-хімічного осадження полягають у складності охоплення значних за площею та складних за формою поверхонь, а точковість дії